

УДК 624.131.543: 504.064

КЛАСИФІКАЦІЇ ЗСУВОНЕБЕЗПЕКИ ПРИРОДНИХ СХИЛІВ І ШТУЧНИХ УКОСІВ ТА ЇХ ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

О.С. Ковров, В.Є. Колесник, НТУ «Дніпровська політехніка», Україна

Визначено рівні зсувонебезпеки природних схилів та штучних укосів, що визначають екологічну чи техногенну небезпеку зсувів. Проаналізовано виявлену залежність між чисельністю зсувів та кількістю атмосферних опадів з урахуванням рельєфу місцевості. На основі залежності запропоновано класифікацію рівнів зсувонебезпеки по регіонах України, практично реалізовану у вигляді відповідної карти. Запропоновано п'ятиступінчасту класифікацію рівнів зсувонебезпеки природних схилів і штучних укосів за напружено-деформованим станом їх ґрунтів, що в сукупності дозволило прогнозувати надзвичайні ситуації, пов'язані зі зсувами ґрунту, спричиненими зволоженням природного чи техногенного характеру та поточним станом і складом ґрунтів, а також визначати рівень екологічної та техногенної небезпеки зсувів, їх можливі наслідки та розробляти попереджувальні заходи.

Вступ. Зсуви земної поверхні природних схилів та штучних укосів є джерелами потенційної екологічної небезпеки, включаючи техногенну, що часто створюють надзвичайні ситуації чи катастрофи та є предметом досліджень як екологів та геомеханіків, а також гідрогеологів і технологів-гірників.

Враховуючи тенденції зміни клімату в світовому та регіональному масштабах, зсувонебезпека в природних схилових ландшафтах та штучно створених укосах, зокрема, уступів та бортів кар'єрів, схилів відвалів відходів різного роду, а також геотехнічних споруд і навіть міських звалищах твердих побутових відходів зростає, зокрема, через перезволоження верхніх шарів нестійких суглинистих, в тому числі, лесових ґрунтів [1, 2].

Головними природними чинниками активізації зсувів є кількість та інтенсивність опадів, характер рельєфу місцевості, склад ґрунтів, навантаженням на них, сейсмічні прояви тощо. При цьому господарська діяльність виступає додатковим чинником розвитку зсувного процесу у вигляді техногенного зволоження ґрунту (в результаті поривів водогонів чи каналізації), зовнішніх навантажень на земну поверхню, підрізки схилів під час будівельних робіт, створення динамічних навантажень в результаті підривних робіт тощо. Отже адекватна прогнозна оцінка рівнів зсувонебезпеки в масштабах регіонів або окремих яружно-балочних мереж чи техногенних укосів дозволить передбачувати зсуви, їх можливі наслідки, впровадити дієву систему захисних інженерних заходів та запобігти катастрофічним зсувним явищам, а, значить, підвищити екологічну безпеку в регіонах.

Доробок авторів з зазначеної вище проблеми можна розділити на дві частини. Перша, – створена на основі аналізу даних статистики для регіонів України стосовно залежності чисельності зсувів від кількості атмосферних опадів в окремих регіонах з урахуванням рельєфу місцевості. В результаті, побудовано математичну геокліматичну модель зсувонебезпечності, що дозволяє прогнозувати зсувонебезпеку в регіональному масштабі. Зокрема, на основі цієї моделі для яружно-балочної мережі отримано вираз для визначення параметрів чинників, що є критичними для виникнення одиничного зсуву. Друга частина спирається на результати лабораторних досліджень з визначення міцнісних характеристик гірських порід та оцінки стійкості укосів кар'єрів з урахуванням геологічних та гідрогеологічних характеристик породного масиву та напружень, що в ньому утворюються. Такий авторський доробок є достатньо вагомим для прогнозного оцінювання рівнів зсувонебезпеки природних схилів і штучних укосів. Отримані ж достовірні оцінки указаних рівнів зсувонебезпеки сприятимуть вирішенню практичних завдань, пов'язаних з прогнозування наслідків зсувів земної поверхні та управлінням процесами їх запобігання як на регіональному, так і локальному рівнях.

Формулювання мети та задачі. Мета статті полягає в узагальненні та формалізації оцінок рівнів зсувонебезпеки на основі запропонованої класифікації відповідної екологічної або техногенної небезпеки як регіонів України, так і локальних територій, включаючи яружно-балочну мережу та штучні укоси техногенних об'єктів, що являють певну екологічну або техногенну небезпеку для населених міст.

Існуючі методи оцінки рівнів зсувонебезпеки природних схилів та техногенних укосів не забезпечують достатньо надійного прогнозування моменту виникнення і масштабів зсуву ґрунтів, а також їх наслідків, що стає на перешкоді впровадження упереджувальних заходів. Тому постає **наукова задача** практичного прогнозу рівнів зсувонебезпеки природних схилів та штучних укосів та їх можливих наслідків на основі класифікації їх екологічної або техногенної небезпеки в мінливих геокліматичних умовах.

Основний матеріал. Для вирішення поставленої задачі, враховуючи її важливість, спочатку розглянемо послідовність визначення та запропоновану класифікацію рівнів зсувонебезпеки в регіонах України та на локальних територіях яружно-балочної мережі залежно від інтенсивності атмосферних опадів та рельєфу місцевості. Потім перейдемо до визначення і класифікації рівнів зсувонебезпеки локальних природних схилів штучних (техногенних) укосів, що базується на їх геомеханічній стійкості. При цьому розглядатимемо аспекти практичного застосування запропонованих класифікацій.

В роботі [3] авторами показано, що математична модель залежності кількості зсувів ґрунту від інтенсивності атмосферних опадів з урахуванням рельєфу місцевості в регіонах будувалась на основі розуміння логіки утворення зсувів. Було виокремлено два головних фактора, що обумовлюють зсувонебезпеку, – рельєф місцевості та атмосферні опади у відповідних регіонах. Їх покладено в основу концепції моделі, за якою чисельність зсувів більше на тих територіях, де більше пересічений рельєф та більше зволоження ґрунту через підвищення рівня атмосферних опадів. Отже кількість зсувів, як величина на виході математичної моделі, прямо пропорційна двом вхідним факторам – рельєфу й атмосферним опадам.

Під час побудови моделі бралось до уваги, що фактор рельєфу місцевості є відносно сталим, тому його доцільно враховувати в моделі певним коефіцієнтом. Атмосферні ж опади змінюються динамічно, тому цей фактор обрано як вхідну змінну моделі.

З урахуванням указанного підходу спочатку за результатами зонально-статистичного аналізу картографічних даних було отримано осереднені значення коефіцієнтів рельєфу для кожного регіону України. Так, на основі осереднених значень трьох складових рельєфу місцевості розраховані інтегральні коефіцієнти рельєфу для кожного регіону за формулою

$$K_p = K_{\text{вис}} \cdot K_{\text{густ}} \cdot K_{\text{глиб}}, \quad (1)$$

де $K_{\text{вис}}$ – коефіцієнт висот, $K_{\text{густ}}$ – коефіцієнт густоти рельєфу, $K_{\text{глиб}}$ – коефіцієнт глибини рельєфу, безрозм.

Далі масив статистичних даних по Україні про питому чисельність зсувів ґрунту – $N_{\text{зс}}$ (кількість на 1000 км² певної території) перетворювався на нормовані за коефіцієнтом рельєфу місцевості величини – $N_{\text{зс}}/K_p$ та шукалась регресійна залежність цих величин від річних атмосферних опадів – W , мм, що за даними метеорологічної статистики спостерігаються у відповідних регіонах.

В результаті, отримано високо достовірне рівняння лінійної регресії у вигляді:

$$N_{\text{зс}}/K_p = 0,011 W, \quad R^2=0,9738. \quad (2)$$

Остаточна регіональна модель зсувонебезпеки, що забезпечує прогноз чисельності зсувів від кількості атмосферних опадів з урахуванням коефіцієнту рельєфу місцевості представлена рівнянням:

$$N_{\text{зс}} = 0,011 K_p W. \quad (3)$$

Найбільша достовірність цієї математичної моделі забезпечується в діапазоні варіювання кількості атмосферних опадів від 350 до 1400 мм/рік, тобто в діапазоні варіювання статистичних даних про опади, та при значеннях інтегрального коефіцієнту рельєфу місцевості від 3 до 11. Проте, оскільки пряма лінія регресії, виходить з початку координат модель можна вважати достовірною при опадах менше 350 та більше 1400 мм/рік, тобто можлива екстраполяція чисельності зсувів.

Рівняння (3) характеризує чисельність зсувів на 1000 км² території певного регіону з відповідними річними опадами, причому число зсувів, що припадає на одиницю опадів у регіоні з певним рельєфом, є постійною величиною. Це стало підставою для визначення потенційної зсувонебезпечності регіонів України (табл. 1) та створення відповідної класифікації, що практично реалізована у вигляді відповідної карти (рис. 1).

Таблиця 1 – Результати визначення потенційної зсувонебезпеки регіонів України

Назва адміністративної області	Кількість опадів по регіонах W , мм/рік (1982-2016)	Інтегральний коефіцієнт рельєфу регіону K_p , безрозм.	Потенційна зсувонебезпечність регіону від опадів ($N_{zc} = 0,011 K_p W$), число зсувів на 1000 км ²
1	2	3	4
АР Крим	753,75	6,26	51,90
Вінницька	673,75	6,62	49,07
Дніпропетровська	558,50	4,13	25,35
Донецька	538,50	5,02	29,76
Закарпатська	1301,25	9,28	132,88
Івано-Франківська	1032,25	9,75	110,73
Київська	609,25	4,15	27,80
Луганська	494,50	5,61	30,52
Львівська	840,25	8,19	75,71
Миколаївська	613,50	3,87	26,12
Одеська	600,25	4,19	27,68
Полтавська	595,25	3,76	24,65
Сумська	568,00	4,43	27,65
Харківська	521,50	4,40	25,23
Хмельницька	661,00	6,80	49,43
Черкаська	610,00	4,98	33,44
Чернівецька	713,25	10,84	85,04

Як бачимо з табл. 1, отримані оцінки чисельності річних зсувів ґрунту на 1000 км² змінюються від мінімального значення – 24,65 до максимального – 132,88. Доволі широкий діапазон варіювання числа зсувів дозволив запропонувати поширену 5-ти ступеневу шкалу ранжирування зсувонебезпеки регіонів України зі зручним кроком, кратним 20 зсувам., а саме: < 20 – низька зсувонебезпека; 20-40 – помірна; 40-80 – середня; 80-120 висока; >120 – надзвичайна. Отже, вдалося класифікувати потенційну зсувонебезпечність регіонів України за прогнозованим числом зсувів залежно від характерних річних опадів з урахуванням рельєфу місцевості та наочним відображенням на карті, наведеній вище на рис. 1.

До цієї карти варто додати запропоновану класифікацію зсувонебезпеки у вигляді табл. 2, яку і пропонується застосовувати на практиці прогнозу зсувів.



Рис. 1. Карта прогнозу зсувонебезпечності в регіонах України

Таблиця 2 – Класифікація зсувонебезпеки регіонів як чинника екологічної безпеки за числом зсувів залежно від річних опадів і коефіцієнту рельєфу місцевості

Рівень зсувонебезпеки регіону	Ступінь зсувонебезпеки	Число зсувів на 1000 км ²	Клас зсувонебезпеки
Допустимий	Низький	< 20	I
Допустимий	Помірний	20 - 40	II
Допустимий	Середній	40 - 80	III
Недопустимий	Високий	80 - 120	IV
Недопустимий	Надзвичайний	> 120	V

Примітно, що рівняння (3) дозволяє визначити кількість опадів, що спричинять хоча б один зсув ґрунту на зсувонебезпечній території площею S , км². Відповідний розв'язок цього рівняння відносно інтенсивності опадів W_{so} , що обумовляють 1 зсув, отримано у вигляді виразу:

$$W_s = 90,909 / K_{ps} S, \text{ мм} \quad (4)$$

Очевидно, що на локальному рівні критична кількість опадів для одиничного зсуву в яружно-балочній мережі змінюватиметься залежно від конкретної площі її зсувонебезпечної ділянки та відповідного показника рельєфу, як показано на рис. 2.

Рівняння (4) дозволяє прогнозувати не тільки критичні для зсуву ґрунту опади на території яружно-балочної мережі. Зазначимо, що число-коефіцієнт в чисельнику – 90,909, з одного боку, характеризує критичні опади в мм, які спричинять зсув на зсувонебезпечній території площею 1 км² з коефіцієнтом рельєфу 1, а з іншого, – це відповідний об'єм води, що потрапляє на указану площу, оскільки має розмірність – мм*км².

В кінцевому результаті, визначає критичне для зсуву зволоження зсувонебезпечної

ділянки яружно-балочної мережі певної площі з певним рельєфом:

$$W_s S = 90,909 / K_{ps}, \text{ мм} \cdot \text{км}^2 = 90,909 \times 10^3 / K_{ps}, \text{ м}^3. \quad (5)$$

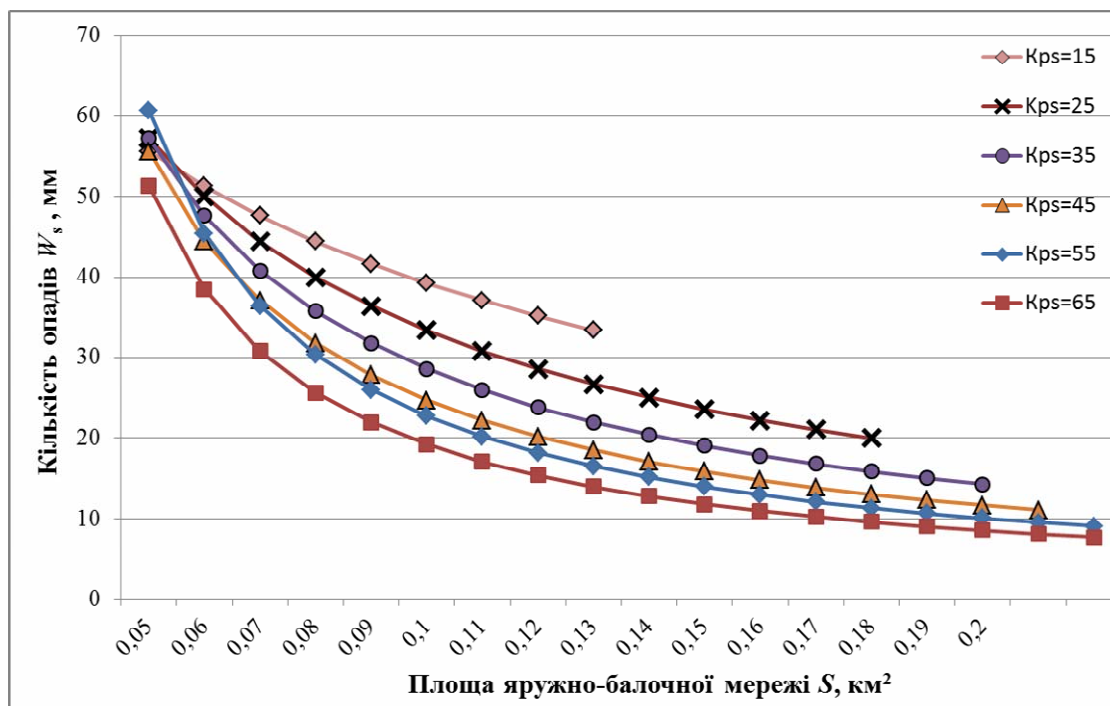


Рис. 2. Прогнозна критична кількості опадів, що спричинить зсув на певній ділянці яружно-балочній мережі, для деяких значень інтегрального коефіцієнту рельєфу

Рівняння (5) дозволяє оцінити об'єм зволоженого ґрунту, що видаляється з масиву в результаті зсуву. Позначимо його як V , м^3 та поділимо ліву і праву частину на цю величину. Отримаємо відносну величину критичного для зсуву зволоження масиву ґрунту, яку можна подати в процентах W_g , %:

$$W_g = W_s S \times 100 / V = 90,909 \times 10^5 / V K_{ps}, \%$$

Тобто отримаємо рівняння для визначення критичної відносної вологості ґрунту:

$$W_g = 90,909 \times 10^5 / V K_{ps}, \%$$

з якого

$$V = 90,909 \times 10^5 / W_g K_{ps}, \text{ м}^3. \quad (6)$$

Польові дослідження вологості зсувного ґрунту показали, що величина W_g , залежно від властивостей ґрунту вбирати вологу до втрати стійкості природного схилу чи штучного укосу зазвичай менше критичного, отриманого за моделлю та коливається в межах $W_g = 15 \dots 20$, %, залежно від пористості ґрунту. Отже підставляючи певне значення вологості нестійкого ґрунту, визначимо об'єм вивалу зволоженого ґрунту під час зсуву.

Таким чином, на практиці для прогнозу параметрів зсуву в локальному аспекті залишається визначити інтегральний коефіцієнт рельєфу – K_{ps} .

Авторами запропоновано визначати його як добуток коефіцієнтів, що характеризують зміни в локальному рельєфі певної ділянки яружно-балочній мережі, тобто

$$K_{ps} = K_{\text{вис}} \cdot K_{\text{зсув}} \cdot K_{\text{пер}}, \quad (7)$$

де $K_{\text{вис}}$ – коефіцієнт перепаду абсолютних висот уздовж яружно-балочної системи; $K_{\text{зсув}}$ – коефіцієнт найбільш зсувонебезпечного укосу; $K_{\text{пер}}$ – коефіцієнт перетину для найбільш зсувонебезпечного профілю.

Зазначені коефіцієнти розраховуються з урахуванням схем, наведених на рис. 2, за формулами:

$$K_{\text{вис}} = 1000 \cdot \Delta h / L_{\text{заг}}; K_{\text{зсув}} = h_s / l_s; K_{\text{пер}} = (l_{\text{н}} / l_{\text{в}}) \cdot (h_s / l_{\text{н}}). \quad (8)$$

де $L_{\text{заг}}$ – загальна довжина балки, м; Δh – перепад висот уздовж балки, м; 1000 – перерахунковий коефіцієнт, проміле; h_s – абсолютна висота укосу, м; l_s – довжина укосу, м (рис. 3, а); $l_{\text{в}}$, $l_{\text{н}}$ – ширина балки відповідно по верхньому та нижньому профілю, м (рис. 3, б).

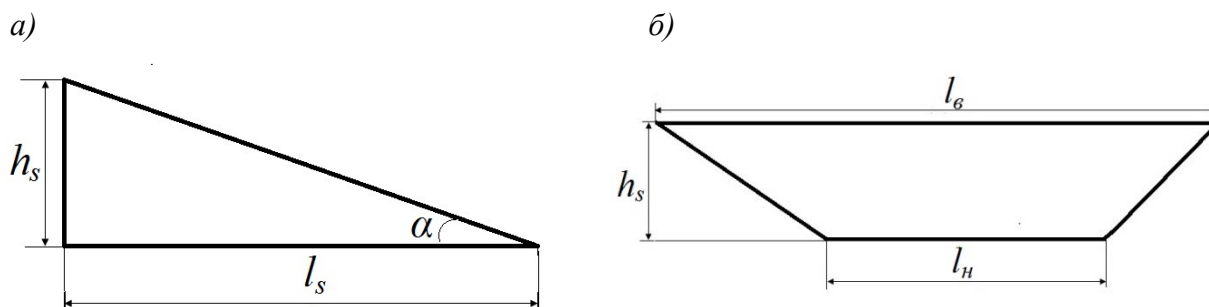


Рис. 3. Пояснювальні схеми до розрахунку коефіцієнту зсувонебезпечного укосу $K_{\text{зсув}}$ (а) та коефіцієнту перетину $K_{\text{пер}}$ (б)

Таким чином, для прогнозу кількості опадів W_s , що спричинять один зсув ґрунту на певній території яружно-балочної мережі площею S , км², залишається визначити інтегральний коефіцієнт рельєфу цієї території $K_{\text{рп}}$.

Для ілюстрації запропонованої моделі визначимо інтегральний коефіцієнту рельєфу $K_{\text{рп}}$ зсувонебезпечної балки Діївська (смт. Дівка, м. Дніпро). Для цього досліджено її геоморфологію, що обумовлена спільною дією природних та техногенних чинників. В результаті обстеження території балки Діївська отримали наступні вихідні дані для оцінки зсувонебезпечності: $L_{\text{заг}} = 1080$ м; $S = 0,092$ км²; $\Delta h = 22$ м; $h_s = 17$ м; $l_s = 4$ м; $l_{\text{н}} = 12$ м; $l_{\text{в}} = 42$ м.

Розрахуємо інтегральний коефіцієнт рельєфу балки $K_{\text{рп}}$ та кількість опадів W_s , які спричинять зсув:

$$K_{\text{рп}} = K_{\text{вис}} K_{\text{зсув}} K_{\text{пер}} = (1000 \cdot \Delta h / L_{\text{заг}}) \cdot (h_s / l_s) \cdot (l_{\text{н}} / l_{\text{в}}) \cdot (h_s / l_{\text{н}}) = \\ = (1000 \cdot 22 / 1080) \cdot (17 / 4) \cdot (12 / 42 \cdot 17 / 12) = 20,37 \cdot 4,25 \cdot 0,40 = 35,04.$$

В результаті критична для зсуву у балці інтенсивність опадів складе:

$$W_s = 90,909 / K_{\text{рп}} S = 90,909 / 35,04 \cdot 0,092 = 90,909 / 3,224 = 28,2 \text{ мм.}$$

Тобто, для виникнення зсуву на найбільш зсувонебезпечній ділянці балки, критичним прогнозом є 28,2 мм опадів за короткостроковий період. Об'єм води, що критично зволожить ґрунт ділянки складе згідно з (5):

$$W_s S = 90,909 / 35,04 = 28,2 \cdot 0,092, \text{ мм} \cdot \text{км}^2 = 28,2 \cdot 0,092 \cdot (10^3), \text{ м}^3 = 2594 \text{ м}^3.$$

Прогнозний об'єм зволоженого до 17% ґрунту, що видаляється з масиву в результаті зсуву, згідно з (6) складе

$$V = 90,909 \times 10^5 / W_g K_{\text{рп}} = 90,909 \times 10^5 / (17 \cdot 35,04) = 15258 \text{ м}^3.$$

Тепер переходимо до визначення і класифікації рівнів зсувонебезпеки локальних природних схилів і штучних (техногенних) укосів, що базуються на їх геомеханічній стійкості.

Відомо, що геомеханічним критерієм оцінки стану природних схилів і техногенних укосів є коефіцієнт запасу стійкості (КЗС), який представляє відношення утримуючих $F_{\text{утр}}$ і зсувних $F_{\text{зсув}}$ сил у схилі (укосі) по поверхні ковзання, тобто $\text{КЗС} = F_{\text{утр}} / F_{\text{зсув}}$. Можливі три стани схилової ділянки ґрунтового чи породного масиву, а саме: при $\text{КЗС} > 1,0$ схил стійкий; $\text{КЗС} = 1,0$ відповідає граничному стану в момент ініціації обвалення схилу чи укосу, що переходить при $\text{КЗС} < 1,0$ в стан обвалення, тобто зсуву.

Значення КЗС для схилів з м'яких порід можуть варіюватися в широких межах, але для практичного застосування цього показника найбільш доцільно аналізувати розрахункові значення КЗС на інтервалі $[1,0; 2,0]$. За умов комплексного впливу природних, включаючи опади, та техногенних факторів, напруження в схилі зростають, що призводить до змін напружено-деформованого стану масиву схилу. Ці зміни характеризуються певними об'єктивними перетворюваннями в масиві, котрі можуть контролюватися або спостерігатися. Саме це стало підставою для встановлення градації геомеханічного стану схилу та відповідної шкали рівнів його зсувонебезпечності або стійкості.

Так, в результаті чисельного моделювання було встановлено, що в однорідних укосах без поверхонь ослаблення суттєві деформації практично відсутні при $KЗС \geq 1,5$ [4, 5]. Цей стан масиву м'яких порід об'єктивно характеризується як найбільш стійкий, отже і рівень зсувонебезпечності «низький», що дозволило віднести такий стан до I класу за запропонованою шкалою. Зростання напружень у схилі ($1,2 < KЗС \leq 1,5$) призводить до виникнення певних деформацій, рівень зсувонебезпечності «помірний» та віднесений нами до II класу зсувонебезпечності. За умов подальшого зниження міцнісних властивостей ґрунтового чи породного масиву внаслідок навантажень чи зміни вологонасичення в схилі зростають напруження та виникають окремі зони деформацій, що дозволило вважати рівень зсувонебезпечності як «середній» та віднести такий стан до III класу за шкалою зсувонебезпечності. Подальший розвиток геомеханічних деформацій ($1,0 < KЗС \leq 1,1$) призводить до заколів та утворення тріщин в схилі, а це дозволило вважати рівень зсувонебезпечності як «підвищений» та виокремити її IV клас. Стан обвалення схилу, при якому $KЗС = 1,0$, запропоновано відносити до максимального рівня зсувонебезпечності – «критичний» та відповідно до V класу. Отже, вдалося встановити градацію геомеханічного стану природного чи техногенного схилу у вигляді п'ятиступінчастої шкали рівнів його зсувонебезпечності-стійкості, що подана у вигляді схеми, наведеній на рис. 4.

Характерно, що аналіз запропонованих в [6] рівнів стійкості стосовно робочих укосів кар'єрів та відвалів з м'яких суглинистих порід свідчить, що найменші значення КЗС знаходяться у межах $1,1 \dots 1,2$. Але, слід враховувати, що з часом такі укоси мають тенденцію до руйнування, опливання та розвитку різноманітних зсувних явищ під впливом зовнішніх чинників, переважно атмосферних опадів та перезволоження. Крім того, визначення фізико-механічних характеристик порід в лабораторних умовах має певні недоліки, пов'язані з варіацією значень зчеплення та кута внутрішнього тертя в реальних породах схилів і укосів навіть в межах одного інженерно-геологічного елементу. Варіації міцнісних властивостей і статистична неоднорідність ґрунтів та суглинистих порід можуть вагомо вплинути на результати лабораторних випробувань, і, як наслідок, на розрахунок величини КЗС схилу. Незважаючи на це, запропонована п'ятиступінчаста шкала зсувонебезпечності-стійкості природних схилів і техногенних укосів дозволяє досить достовірно прогнозувати геомеханічний стан масиву гірських порід укосів кар'єрів та відвалів з м'яких суглинистих порід.

В результаті наукового узагальнення авторами була запропонована відповідна класифікація зсувонебезпечності природних схилів та укосів, що спирається на значення КЗС (табл. 3).

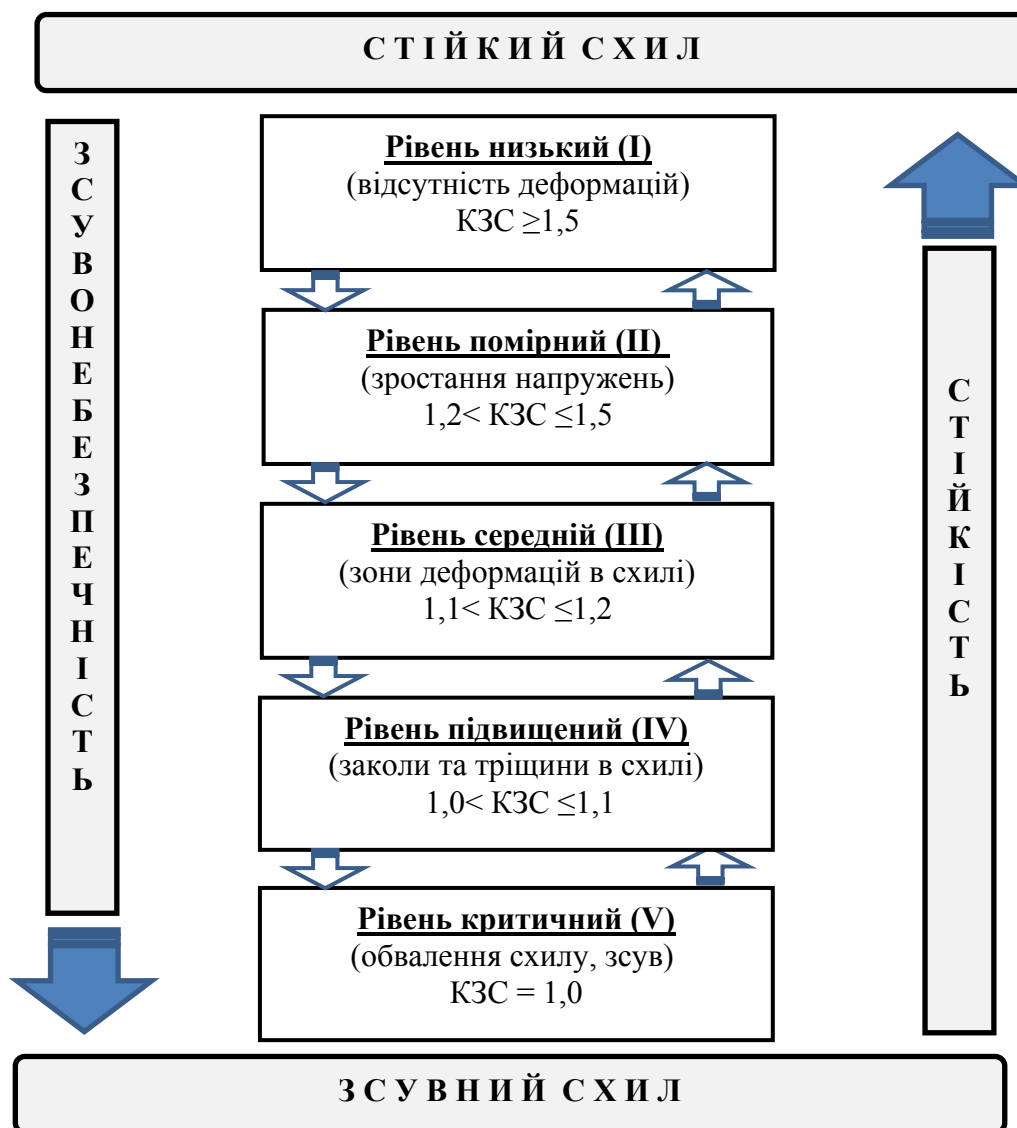


Рис. 4. П'ятиступінчаста градація рівнів зсувонебезпеки-стійкості локальних природних схилів та укосів за геомеханічним критерієм ($K3C$)

Таблиця 3

Класифікація зсувонебезпечності природних схилів та укосів за значенням $K3C$

Рівні зсувонебезпечності	Значення $K3C$, безрозм.	Клас зсувонебезпечності	Вид небезпеки	Примітка
Низький	$K3C \geq 1,5$	I	Техногенна	Використовується для техногенних укосів суцільних та насипних порід
Помірний	$1,2 < K3C \leq 1,5$	II	Техногенна	
Середній	$1,1 < K3C \leq 1,2$	III	Екологічна	Характеризує екологічну небезпеку від зсувів внаслідок надзвичайної ситуації
Підвищений	$1,0 < K3C \leq 1,1$	IV	Екологічна	
Критичний	$K3C = 1,0$	V	Екологічна	

Запропонована класифікація дозволяє визначати рівень зсувонебезпеки природних схилів і техногенних укосів, а значить і прогнозувати їх можливі зсуви з подальшою розробкою ефективних заходів інженерного захисту від зсувів.

Висновки.

Запропонована і побудована авторами геоокліматична модель дозволяє визначати рівні зсувонебезпеки регіонів України за прогнозованим числом зсувів залежно від характерних річних опадів та показників рельєфу місцевості. На основі цієї моделі запропоновано класифікацією з 5-ти ступеневою шкалою ранжирування зсувонебезпеки регіонів: < 20 зсувів на рік – низька зсувонебезпека; 20–40 – помірна; 40–80 – середня; 80–120 висока; >120 – надзвичайна з наочним відображенням на карті держави.

На основі запропонованої геоокліматичної моделі отримано частинну модель, призначену для практичного визначення критичної кількості опадів, що спричинять хоча б один зсув ґрунту на території локальної яружно-балочної мережі чи техногенного укосу. В частинній моделі запропоновано визначати коефіцієнт рельєфу для певної ділянки балки визначеної площі у вигляді добутку коефіцієнту перепаду її абсолютних висот, коефіцієнту найбільш зсувонебезпечного укосу та коефіцієнту перетину найбільш зсувонебезпечного профілю. Дано прогнозну оцінку критичної кількості опадів та ступеню зволоження, що спричинить зсув, а також об'ємів ґрунту, що виноситься зсувом. Як приклад розглянуто можливий зсувний процес у балці Діївська м. Дніпро.

Альтернативне визначення рівнів зсувонебезпеки природних схилів та техногенних укосів запропоновано на основі урахування деформовано-напруженого стану їх ґрунтів за змінами коефіцієнта запасу стійкості – КЗС: відсутність деформацій ($K_{ЗС} \geq 1,5$); зростанням напружень ($1,2 < K_{ЗС} \leq 1,5$); утворенням локальних зон деформацій ($1,1 < K_{ЗС} \leq 1,2$); утворенням заколів та тріщин ($1,0 < K_{ЗС} \leq 1,1$); поступовим обваленням схилу, зсув ($K_{ЗС} = 1,0$). Указана п'ятиступінчаста шкала градації запасу стійкості дозволила запропонувати відповідну класифікацією рівнів зсувонебезпеки, класів і видів та розробляти ефективні заходи інженерного захисту від зсувів.

Отримані результати інтегровано в комплексну геомеханічну-екологіокліматичну модель зсувонебезпеки для прогнозу і попередження екзогенних геологічних процесів, що супроводжуються зсувами ґрунту як на регіональному, так і на локальному рівнях, включаючи техногенні зсувонебезпечні ділянки.

Список літератури

1. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2014 році / Державна служба України з надзвичайних ситуацій; відп. вип. О. М. Євдін, В. В. Коваленко, В. С. Кропивницький. – Київ: [б. в.], 2015. – 365 с.
2. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2015 році [Електронний ресурс] / Міністерство екології та природних ресурсів України; за ред. О. І. Бондаря [та ін.]. – Київ: Грінв Д.С., 2016. – 350 с.
3. Kovrov O.S., Kolesnik V.Ye., Buchavyi Yu.V. Evaluation of the influence of climatic and geomorphological factors on landslides development. Environmental safety and natural resources. Kyiv, Institute of Telecommunications and Global Information Space of NAS of Ukraine, Kyiv National University of Construction and Architecture. № 1–2 (25), 2018. – P. 121–132.
4. Сдвижкова Е.А., Ковров А.С., Кирияк К.К. Геомеханическая оценка устойчивости оползневого склона методом конечных элементов. Научно-технический журнал «Научный вестник Национального горного университета». 2014. №2. С. 86–92.
5. Ковров А.С., Бабий Е.В., Ракишев Б.Р., Куттыбаев А.Е. Влияние обводненности насыпного массива пород на геомеханическую устойчивость участка циклично-поточной технологии. Журнал «Mining of Mineral Deposits», 2016. Vol.10. Issue 2, pp. 55–63.
6. Гальперин А.М. Геомеханика открытых горных работ: – М.: Изд.-во Московского государственного горного университета, 2003. – 473 с.